Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 1, Spring - Summer 2018, p. 1-13

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد 8، شماره 1، نیمسال اول 1397، ص 13-1

مطالعه آزمایشگاهی انرژی برشی ویژه ساقه یونجه به‌منظور تخمین برخی شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای

محمدمهدی مهارلویی[1*] - محمد لغوی[2] - سریکالا جی باجوا[3] - ماریسول برتی[4]

تاریخ دریافت: 1395/03/06
تاریخ پذیرش: 1395/12/16

چکیده

پژوهش حاضر به دنبال روشی ساده و کاربردی به‌منظور استفاده در شرایط مزرعه‌ای به‌صورت بی‌درنگ برای تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای محصول یونجه می‌باشد. این خصوصیات برای تهیه لایه نقشه تغییرپذیری کیفیت محصول و نیل به اهداف کشاورزی دقیق مورد نیاز است. پژوهش‌های پیشین نشان دادند که آزمون‌های برشی استاندارد در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی (رطوبت محصول و قطر ساقه‌ها) قادر به پیش‌گویی برخی شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای هم‌چون فیبر خام است، در پژوهش حاضر که در دو بخش انجام شد، در بخش نخست شرایط متفاوتی از سرعت بارگذاری و شرایط محصول اعم از چرخه رشد سالیانه یونجه (یک‌ساله، دوساله، سه‌ساله و پنج‌ساله) و زمان برداشت در فصل رشد (چین‌سوم و چین‌پنجم) برای انجام آزمون برش استفاده شد. در بخش دوم این پژوهش تحقیقات تکمیلی به منظور بررسی امکان به‌کارگیری روش برشی در مورد سایر عوامل مؤثر بر کیفیت تغذیه‌ای در آمریکا برروی پنج رقم یونجه و سه سطح نرخ کاشت در فصل زراعی سال 2014 انجام شد. نتایج نشان داد تغییرات میانگین انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف چرخه رشد سالیانه، زمان برداشت و نرخ کاشت به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال 95٪ تغییر کرده است. عامل رقم محصول تأثیر معنی‌داری بر تغییرات انرژی برشی ویژه نشان نداد. همچنین آزمون رگرسیون و هم‌بستگی نشان داد انرژی برشی ویژه بهترین همبستگی را با شاخص‌های مرتبط با فیبر خام داشته است (R^2=0/66). روند تغییرات انرژی برشی ویژه نسبت به شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای در بخش‌های اول و دوم پژوهش حاظر مشابه نتایج تحقیقات گذشته بود. این روش می‌تواند روشی سریع برای تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای علوفه باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های فیبر خام، علوفه، کشاورزی دقیق، نقشه تغییرپذیری کیفیت

مقدمه

کشاورزی دقیق همواره به دنبال راه‌کارهایی به‌منظور بیان علل وجود تغییرات در مزرعه و اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب جهت بهبود عملکرد کمّی و کیفی محصول و در نهایت افزایش سود تولیدکننده است (Loghavi, 2003). یکی از مهم‌ترین لایه‌های اطلاعاتی قابل مدیریت در مزرعه، عملکرد کمّی و کیفی محصول می‌باشد. مطالعات پیشین نشان داده که امکان مدیریت نهاده‌ها به‌منظور بهبود خصوصیات و شاخص‌های کیفی محصول همانند عملکرد کمّی محصول وجود دارد (Blackmore, 1996). این شاخص‌های کیفی در محصولات پر ارزش تأثیر زیادی بر قیمت‌گذاری محصول دارد.

محصولات علوفه‌ای نیز دارای شاخص‌های کیفی قابل سنجش در قیمت‌گذاری است. هم‌چنین اطلاع از تغییرات خصوصیات کیفی محصول در مزرعه، متخصصان را در تهیه و تدوین جیره غذایی دام یاری می‌نماید. از مهم‌ترین این شاخص‌ها، شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای[5] است که به بررسی خصوصیات گوارشی[6] علوفه برای حیوان نشخوارکننده می‌پردازد. شاخص‌های پروتئین خام، الیاف خام و شاخص دیواره سلولی بدون همی‌سلولز[7] یا درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی[8] از پر اهمیت‌ترین شاخص‌های این دسته هستند.

1- استادیار، بخش مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
2- استاد، بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
3- استاد، بخش مهندسی زراعی و بیوسیستم، دانشگاه ایالتی داکوتای شمالی، فارگو، ایالات متحده آمریکا
4- استاد، بخش علوم گیاهی، دانشگاه ایالتی داکوتای شمالی، فارگو، ایالات متحده آمریکا
(*- نویسنده مسئول: Email: maharlooei@uk.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v8i1.56187

5- Nutritional Quality Parameters
6- Digestive Characteristics
7- Hemi-Cellulose
8- Acid Detergent Fiber (ADF)

اندازه‌گیری این شاخص‌ها به کمک روش‌های آزمایشگاهی انجام می‌شود که عموماً زمان‌بر و هزینه‌بر است (Ball *et al.*, 2001). بنابراین امکان اجرای آن‌ها به‌صورت گسترده و در شرایط بی‌درنگ وجود ندارد. با توجه به عوامل محیطی و زراعی مؤثر بر خصوصیات کیفیتی یاد شده و امکان اجرای مدیریت خاص مکانی[1] نهاده‌ها به‌منظور بهبود خصوصیات کیفی، مطالعه در خصوص یافتن روش‌های بی‌درنگ برای یافتن نایکنواختی کیفی در مزرعه و بر طرف نمودن آن ضروری به‌نظر می‌رسد.

تاکنون روش‌های متعددی توسط محققین برای پاسخ به این مسئله، پیشنهاد شده است که عموماً مبتنی بر استفاده از روش مادون قرمز نزدیک[2] و روش‌های سنجش از دور می‌باشند. علی‌رغم پاسخ مناسب این روش‌ها و هم‌بستگی‌های قوی نتایج آن‌ها با خصوصیات کیفی، استفاده از این روش‌ها با مشکلاتی نیز همراه است. به‌طور مثال روش مادون قرمز نزدیک نیازمند آماده‌سازی اولیه نمونه بوده که استفاده از آن را در شرایط مزرعه‌ای محدود می‌سازد. روش سنجش از دور نیز به شدت وابسته به شرایط آب و هوایی و وضعیت جوی منطقه در حین تصویربرداری، وضوح مکانی تصاویر و بازه زمانی تصویربرداری است. افزون بر آن، استفاده از این روش‌ها در کشورهای در حال توسعه با کشاورزی سنتی یا نیمه مدرن، توجیه‌پذیر نیست و لزوم ارائه و گسترش روش‌های کاربردی‌تر در این زمینه احساس می‌شود (Stuth *et al.*, 2003).

تحقیقات صورت گرفته توسط محققین در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی نشان می‌دهد که خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصول می‌تواند نشانگر برخی خصوصیات کیفی محصول باشد. از بین خصوصیات مکانیکی محصول، نیروی برشی بیش‌ترین هم‌بستگی را با خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای نشان داده است (Herrero *et al.*, 2001, Hughes *et al.*, 2000, Iwasa *et al.*, 1996a, Iwasa *et al.*, 1999, Liu *et al.*, 2009, Mir *et al.*, 1995).

با توجه به مطالعات پیشین انجام شده، در این تحقیق که در دو بخش انجام شد امکان‌سنجی استفاده از انرژی برشی ویژه به‌منظور تخمین خصوصیات کیفی یونجه مورد بررسی قرارگرفت (Liu *et al.*, 2009, Yang *et al.*, 2010; Iwasa *et al.*, 1999). در بخش اول که در ایران انجام شد، تخمین خصوصیات کیفی در شرایط مختلف زراعی، بررسی گردید. در بخش دوم تحقیق که در آمریکا انجام شد، این روش در مورد ارقام مختلف یونجه و در نرخ‌های مختلف کاشت آزمون شد.

مواد و روش‌ها

ساخت و نصب تجهیزات مکانیکی آزمون آزمایشگاهی

برای راستی‌آزمایی روش پیشنهادی در این پژوهش لازم بود تا محصول تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی ارزیابی گردد. در بخش تحقیقات ایران از دستگاه بارگذاری استاندارد چند منظوره کششی و فشاری (سنتامSTM-20) استفاده گردید. از دو تیغه یدکی ماشین بسته‌بند جان دیر مدل 348 برای شبیه‌سازی شرایط مطابق آنچه در ماشین بسته‌بند اتفاق می‌افتد، استفاده شد. برای نصب تیغه‌های ثابت و متحرک ماشین بسته‌بند بر روی بخش ثابت و متحرک دستگاه بارگذاری، قطعاتی مانند آنچه در شکل 1 (راست) مشاهده می‌شود، ساخته شد. این قطعات وظیفه نگه‌داری تیغه‌ها در وضعیت صحیح از لحاظ فاصله بین دوتیغه و زاویه قرارگیری تیغه‌ها نسبت به راستای وارد شدن نیرو مطابق با شرایط نصب در ماشین بسته‌بند را بر عهده دارند. در تحقیقات بخش آمریکا از دستگاه استاندارد چند منظوره کششی و فشاری (TESTRESOURCES-311) استفاده گردید و به دلیل تفاوت در نوع ماشین بسته‌بند و روش برداشت محصول یونجه برای آزمون‌های برشی از پروب‌های استاندارد آزمون برشی وارنر براتزلر[3] اصلاح شده استفاده شد (Womac *et al.*, 2005).

عوامل مورد آزمون و روش انجام آزمایش‌ها

با توجه به هدف پژوهش حاضر و منابع علمی بررسی شده، در این پژوهش دو گروه از عوامل مورد آزمون قرار گرفت. عوامل زراعی انتخاب شده در ایران با توجه به تنها رقم موجود در منطقه شامل چرخه رشد سالیانه محصول در چهار سطح و چین‌های برداشت شده در دو سطح انتخاب گردید. چهار مزرعه با محصول یونجه رقم همدانی به‌ترتیب یک‌ساله، دوساله، سه‌ساله و پنج‌ساله و در طی فصل برداشت دو چین در مردادماه و مهرماه (چین‌های سوم و پنجم فصل رشد) از مزارع تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز برداشت و مورد ارزیابی قرار گرفت.

دلیل انتخاب ماه‌های مرداد و مهر به دلیل تفاوت درجه روز[4] دریافتی گیاه در حین دوره رشد در این ماهها و تأثیر این عامل بر کیفیت تغذیه‌ای گیاه می‌باشد. عوامل دیگر مورد آزمون در این بخش پژوهش با توجه به پژوهش‌های پیشین (Nazari-Galedar *et al.*, 2008)، سرعت بارگذاری در چهار سطح (200، 300، 400 و 500 میلی‌متر در دقیقه)، وضعیت محتوای رطوبتی ساقه‌ها در دو سطح ساقه‌های تازه برداشت شده (تازه) و ساقه‌های خشک شده آماده بسته‌بندی (خشک) و هم‌چنین برش ساقه‌ها در دو سطح وضعیت تک‌ساقه و دسته‌ساقه بود (تعداد ده عدد ساقه که به‌طور تصادفی برای هر آزمایش انتخاب می‌شد).

1- Site Specific Management System
2- Near Infrared Spectroscopy (NIRS)
3- Modified Warner-Bratzler Shear Test
4- Degree Day



شکل 1- تجهیزات ساخته شده برای نصب تیغه‌های ماشین بسته‌بندی روی دستگاه بارگذاری چندمنظوره در آزمون‌های بخش ایران (راست) نصب پروب وارنر براتزلر برای آزمون برشی در آزمون‌های بخش آمریکا (چپ)

Fig.1. Test rigs developed for installation of baler blade on multi-purpose loading instrument in Iran (right) and installation of Warner-Bratzler probe for shear test in USA (left)

در تحقیقات بخش آمریکا عوامل زراعی شامل ارقام مختلف یونجه در پنج سطح (آرچر[1]، دی جی4210[2]، پایونیر 55 وی 48[3]، پی جی آی212[4] و ورنال[5]) و مقدار بذر کشت شده در واحد مساحت در سه سطح (5، 15 و 25 کیلوگرم در هکتار) مورد آزمون قرار گرفت. در تحقیقات این بخش با توجه به نتایج تحقیقات بخش ایران، کثرت تعداد نمونه‌های آزمایش و هم‌چنین هزینه‌های بالای آزمون‌ها تنها از سطح سرعت 500 میلی‌متر در دقیقه و وضعیت دسته‌ساقه و ساقه‌های تازه برداشت شده، استفاده شد.

به‌منظور تخمین خصوصیات کیفی مطرح شده از روش‌های استاندارد آزمایشگاهی طبق پروتکل‌های استاندارد (استاندارد ای او ای سی[6]) که توسط محققین پیشنهاد شده در بخش مهندسی علوم دامی در هر دو کشور انجام شد (Ball *et al.*, 2001).

پس‌پردازش داده‌های خام اندازه‌گیری شده و آزمون‌های آماری

به‌منظور مقایسه آماری تیمارها، انرژی برشی ویژه مورد آزمون قرار گرفت. انرژی برشی ویژه از طریق محاسبه سطح زیر منحنی نیروی برشی و جابه‌جایی به روش ذوزنقه‌ای به‌ازای قطر هرساقه/دسته‌ساقه برحسب ژول بر میلی‌متر مطابق شکل 2 و با استفاده روابط (1) و (2) محاسبه شد (Hooshmand and Loghavi, 2014, Maharlooei *et al.*, 2014).

$$Shear\ Energy = \sum_{j=1}^{n} (x_j - x_{j-1}) \times (\frac{f_j + f_{j-1}}{2}) \quad (1)$$

$$Specific\ Shear\ Energy = \frac{Shear\ Energy}{Stem\ Diameter(s)} \quad (2)$$

آزمایش‌های بخش ایران به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد. در این آزمایش‌ها عامل مزرعه به‌عنوان کرت اصلی و عوامل چین و سرعت بارگذاری به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند.

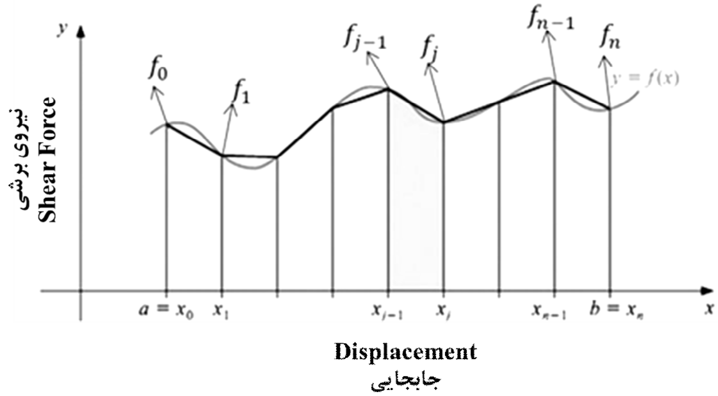
آزمایش‌های بخش آمریکا نیز در قالب دو آزمایش مستقل تک‌عاملی (عامل رقم یونجه و عامل نرخ کاشت در واحد سطح) و طرح بلوک کامل تصادفی انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین‌ها

1- Archer
2- DG 4210
3- Pioneer 55 V 48
4- PGI 212
5- Vernal
6- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC)

نتایج تجزیه واریانس آزمون‌های آزمایشگاهی در مورد محصول تازه و خشک در شرایط تک‌ساقه و دسته‌ساقه در جدول 1 نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد در محصول خشک و تازه، انرژی برشی ویژه در کلیه سطوح عامل مزرعه و چین به‌صورت معنی‌داری تغییر کرده است. این در حالی‌است که در مورد عامل نرخ بارگذاری تغییرات فقط در شرایط محصول تازه به‌صورت معنی‌دار تغییر کرده است و در شرایط خشک نرخ بارگذاری تغییرات معنی‌داری را در میانگین انرژی برشی ویژه نشان نداده است.



شکل 2- محاسبه انرژی برشی ویژه به روش ذوزنقه‌ای

Fig.2. Calculating specific shear energy using trapezoid method

جدول 1- جدول تجزیه واریانس تغییرات انرژی برشی ویژه در تیمارهای مختلف

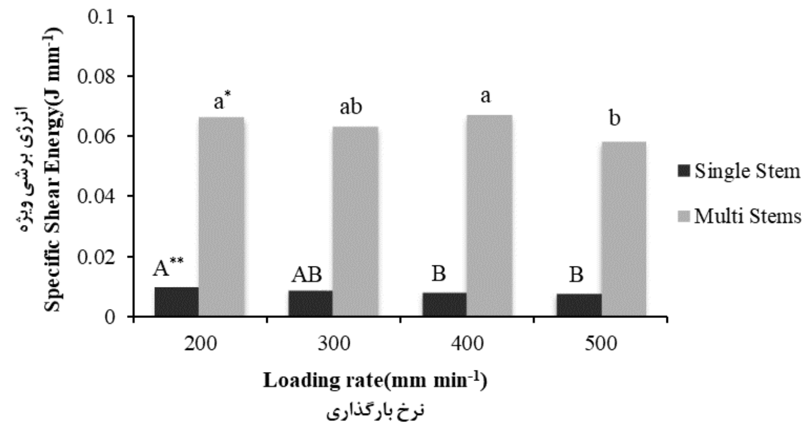
Table 1- ANOVA table for specific shear energy variation in different treatments

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	F value Fresh-Single stem	F value Fresh-Multi stem	F value Dry-Single stem	F value Dry-Multi stem
بلوک Block	2	1.93^{ns}	3.24*	0.58^{ns}	0.86^{ns}
مزرعه Field	3	7.52*	37.64**	7.91*	3.61*
کرت‌های اصلی Main plots	11				
چین Harvest	1	11.52**	1.15^{ns}	18.8**	18.35**
چین×مزرعه Field×Harvest	3	6.39*	13.20**	3.10*	2.12^{ns}
کرت‌های فرعی Sub plots	12				
نرخ بارگذاری Loading rate	3	4.40**	2.80*	2.53^{ns}	0.8^{ns}
مزرعه×نرخ بارگذاری Field×Loading rate	9	1.37^{ns}	3.68*	1.66^{ns}	2.09*
چین×نرخ بارگذاری Harvest×Loading rate	3	2.69^{ns}	0.75^{ns}	1.11^{ns}	0.11^{ns}
مزرعه×چین×نرخ بارگذاری Field×Harvest×Loading rate	9	2.08^{ns}	0.36^{ns}	1.23^{ns}	0.94^{ns}
کرت‌های فرعی فرعی Sub sub-Plots	72				
Total کل	95				

^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار، * تفاوت معنی‌دار در سطح 5٪، ** تفاوت معنی‌دار در سطح 1%

^{ns} Not significant difference, * Significant difference in 5% level, ** Significant difference in 1% level

نتایج آزمون تکمیلی چند دامنه‌ای دانکن در مورد تیمارهای مورد بررسی در شکل‌های 3 تا 5 آمده است. نتایج آزمون آزمایشگاهی نشان داد که با کاهش سرعت بارگذاری برای حالت یونجه تازه انرژی برشی افزایش می‌یابد. این افزایش انرژی برشی ویژه به دلیل کاهش توانایی تیغه در برش ساقه است. در سرعت‌های پایین‌تر گسیختگی ساقه‌ها به دلیل کشیدگی ساقه‌ها و پارگی بافت ساقه اتفاق می‌افتد (Srivastava *et al.*, 2006).



*- Means with different letters are significantly different at 95% probability level

*- میانگین‌ها با حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال 95٪ می‌باشد.

**- Means with upper case and lower case letters are compared individually

**- میانگین‌ها با حروف کوچک و بزرگ به‌طور مجزا مقایسه شده‌اند.

شکل 3- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی برشی ویژه در سرعت‌های مختلف بارگذاری در محصول تازه

Fig. 3. Mean comparison of specific shear energy at different loading rates in fresh product

این نتایج نشان می‌دهد، انرژی برشی ویژه در مورد محصول مزرعه پنج‌ساله بیشترین مقدار و پس از آن به‌ترتیب مزارع سه‌ساله، یک‌ساله و دوساله بیشترین مقدار را داشته است. در مورد چین‌های برداشت محصول در مزرعه هم انرژی برشی ویژه در چین دوم بیشتر از چین اول بوده است. در مورد روند تغییرات از آن‌جا که مزرعه پنج‌ساله و سه‌ساله نسبت به دوساله و یک‌ساله و هم‌چنین چین دوم نسبت به چین اول داری چگالی بیشتری بوده است تفاوت در انرژی برشی ویژه و ترتیب آن توجیه‌پذیر است (Iwasa *et al.*, 1996b).

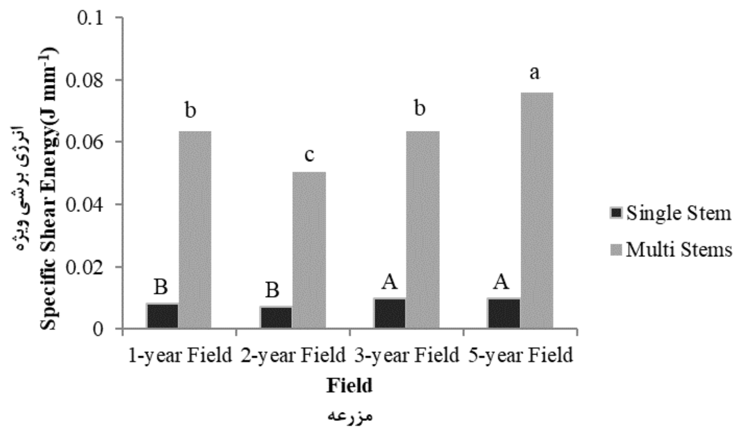
در حالت چندساقه روند تغییرات در مورد انرژی برشی ویژه مزرعه یک‌ساله تغییر کرده است که این تغییر روند می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری به دلیل قرارگیری تصادفی ساقه‌ها در کنار هم و تعداد ساقه‌ای که به‌صورت لحظه‌ای در مقابل تیغه، در معرض برش قرار می‌گیرند، باشد. از سویی دیگر تغییرات نیروی برشی در یونجه یک‌ساله می‌تواند به دلیل وجود پنجه کم‌تر و در نتیجه دریافت بهتر نور و گرما توسط شاخساره یونجه شود که این عوامل سبب افزایش رشد رویشی و در نتیجه افزایش چگالی ساقه می‌شود. این افزایش چگالی خود سبب افزایش انرژی برشی ویژه ساقه‌ها در مقایسه با روند کاهشی سایر مزرعه‌ها شده است (Bagg, 2003).

در مورد روند تغییرات انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف چین از آنجا که چین پنجم در مهرماه برداشت شده است به دلیل کاهش درجه‌روز دریافتی در مهرماه و در نتیجه تأمین نشدن درجه‌روز لازم برای تبدیل به فاز زایشی، ساقه‌ها به رشد رویشی خود ادامه می‌دهند که سبب افزایش چگالی ساقه می‌شود بنابراین انرژی برشی لازم برای برش ساقه‌های برداشت شده در مهرماه (چین پنجم) نسبت به مردادماه (چین سوم) مقدار بیشتری داشته است (Emam, 2003; Bagg, 2003).

در بخش دوم تحقیق نتایج تجزیه واریانس در سطح 5% برای عامل نرخ کاشت بر واحد سطح تغییر کرده است (جدول 2) اما در مورد عامل رقم تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج آزمون تکمیلی در شکل‌های 6 و 7 آمده است.

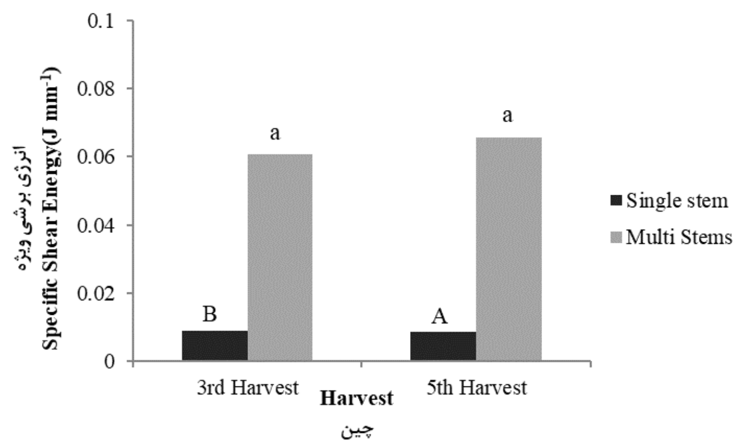
در مورد نتایج بخش دوم تحقیقات در مورد عامل نرخ کاشت افزایش انرژی برشی ویژه در سطح 5 کیلوگرم در هکتار می‌تواند ناشی از رقابت کم‌تر هر بوته برای جذب آب و توانایی دریافت نور و گرمای بهتر به دلیل تراکم کم‌تر ساقه در واحد سطح و در نتیجه رشد رویشی بهتر و چگالی بیشتر ساقه باشد. در مورد عامل رقم، تفاوت معنی‌داری بین ارقام مختلف مشاهده نشد. این عدم تفاوت می‌تواند

ناشی از سازگاری ارقام رشد یافته در یک منطقه با خصوصیات آب و هوایی خاص باشد (Varella *et al.*, 2011).



شکل 4- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف عامل مزرعه در محصول تازه

Fig. 4. Mean comparison of specific shear energy at different levels of field factor in fresh product



شکل 5- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف عامل چین در محصول تازه

Fig. 5. Mean comparison of specific shear energy at different levels of harvesting in fresh product

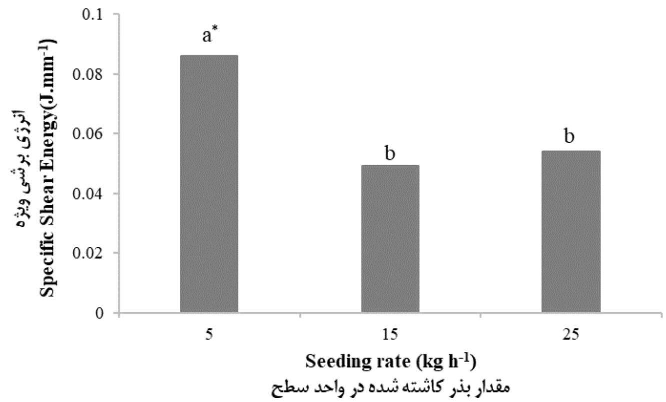
جدول 2- جدول تجزیه واریانس تغییرات انرژی برشی ویژه در تیمارهای مختلف

Table 2- ANOVA table for specific shear energy variation in different treatments

منبع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	F value	منبع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	F value
نرخ کاشت Seeding rate	2	4.37^{*}	رقم Variety	4	0.18^{ns}
خطا Error	9		خطا Error	15	
کل Total	11		کل Total	19	

^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار، * تفاوت معنی‌دار در سطح 5%

^{ns} Not significant difference, * Significant difference in 5% level

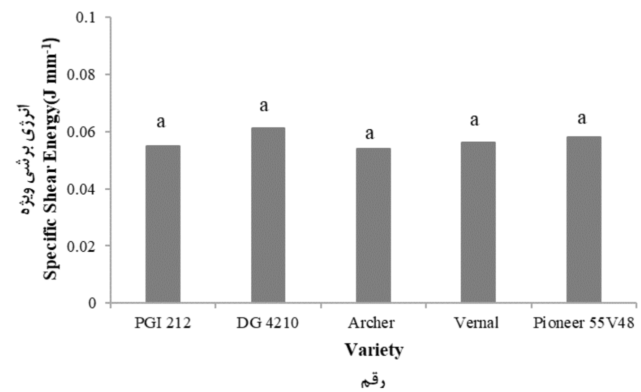


*-Averages with different letters are significantly different at 95% probability level.

* - میانگین‌ها با حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال 95٪ می‌باشد.

شکل 6- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف عامل نرخ کاشت

Fig. 6. Mean comparison of specific shear energy at different levels of seeding rate



شکل 7- نتایج مقایسه میانگین‌های انرژی برشی ویژه در سطوح مختلف عامل رقم محصول

Fig. 7. Mean comparison of specific shear energy at different levels of variety factor

نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون و آزمون هم‌بستگی با شاخص‌های کیفی

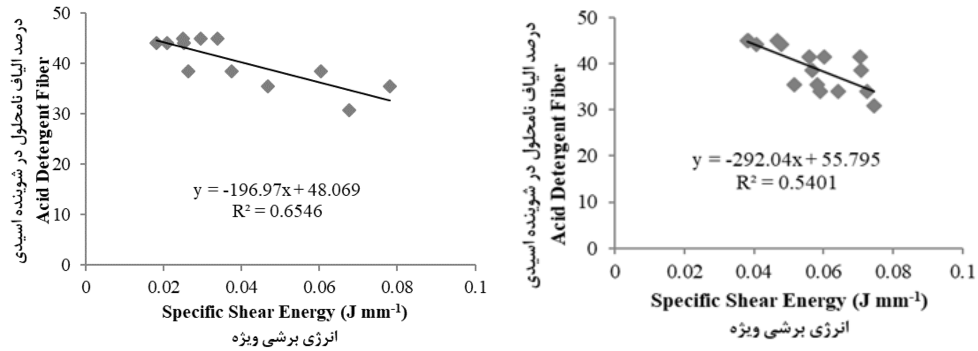
نتایج مربوط به انرژی برشی ویژه در تیمارهای مختلف با استفاده از تیغه‌های برشی ماشین بسته‌بند و روش آزمون‌های استاندارد آزمایشگاهی در حالات خشک و تازه و هم‌چنین تک‌ساقه و دسته‌ساقه مقایسه گردید. در وضعیت تک‌ساقه ضرایب هم‌بستگی بسیار ضعیف R^2 =-0/05، R^2=-0/06 و R^2=0/05 را به‌ترتیب با شاخص‌های کیفیت تغذیه‌ای درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی[1]، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی[2] و ارزش تغذیه‌ای نسبی[3] نشان داد. این هم‌بستگی ضعیف مغایر با برخی مطالعات پیشین است (Herrero *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2009; Mir *et al.*, 1995). این مغایرت می‌تواند به دلیل استفاده از تیغه‌های برشی ماشین بسته‌بند به جای استفاده از روش استاندارد آزمون برش ساقه (روش وارنر براتزلر اصلاح شده) در بخش اول این پژوهش باشد. از سویی دیگر در وضعیت تک‌ساقه به دلیل پراکندگی مقادیر انرژی برشی ویژه در یک تیمار خاص که ناشی از تغییرات چگالی ساقه است سبب ضعیف شدن هم‌بستگی شده است. اما در وضعیت دسته‌ساقه، انرژی برشی ویژه به‌دلیل تأثیرپذیری از چند ساقه بهتر هم‌بستگی را نشان می‌دهد.

در وضعیت دسته‌ساقه، انرژی برشی ویژه با شاخص‌های درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی و ارزش تغذیه‌ای نسبی در هر دو حالت خشک و تازه هم‌بستگی مناسبی را نشان داد (شکل‌های 8 تا 10). روند تغییرات در هر دو وضعیت تازه و خشک که در این تحقیق انجام شده است، مطابق نتایج محققین پیشین بود (Herrero *et al.*, 2001; Liu *et al.*,

---

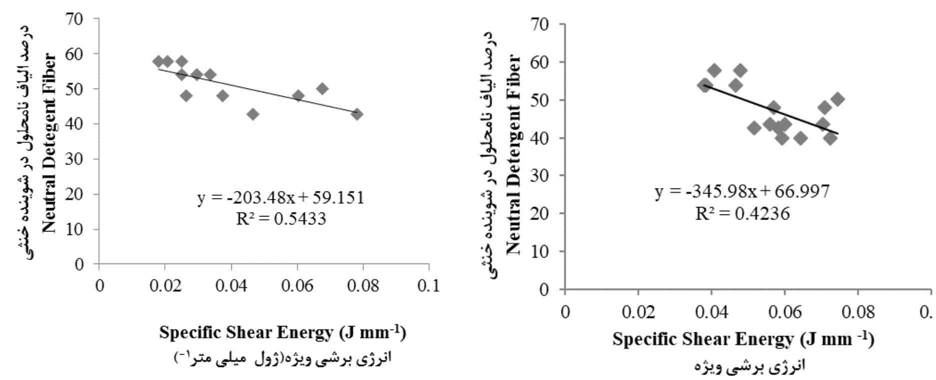
1- Acid Detergent Fiber (ADF)
2- Neutral Detergent Fiber (NDF)
3- Relative Feed Value (RFV)

.(2009; Mir *et al.*, 1995



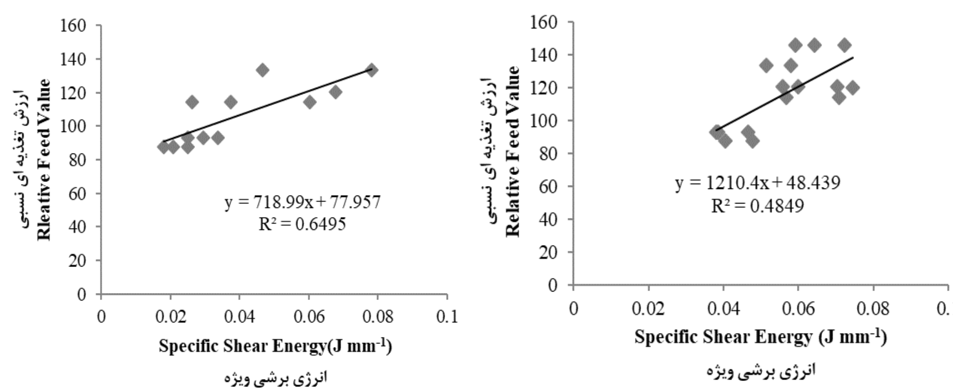
شکل 8- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، در حالت تازه (راست) و خشک (چپ) در وضعیت دسته‌ساقه

Fig. 8. Relationship of specific shear energy and ADF index of fresh product (right) and dried product (left) at multi-stem condition



شکل 9- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در حالت تازه (راست) و خشک (چپ) در وضعیت دسته‌ساقه

Fig. 9. Relationship of specific shear energy and NDF index of fresh product (right) and dried product (left) at multi-stem condition



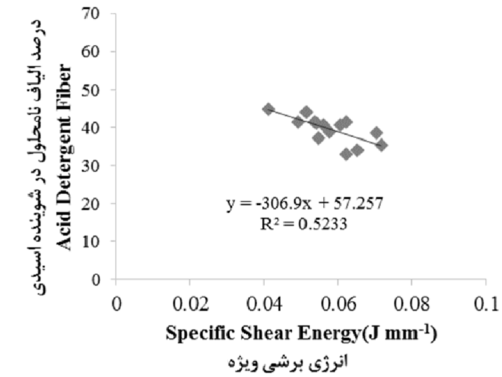
شکل 10- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص ارزش تغذیه‌ای نسبی در حالت تازه (راست) و خشک (چپ) در وضعیت دسته‌ساقه

Fig. 10. Relationship of specific shear energy and RFV index of fresh product (right) and dried product (left) at multi-stem condition

در بخش دوم تحقیق هم آزمایش‌ها بـر روی نمونـه‌هـای تـازه

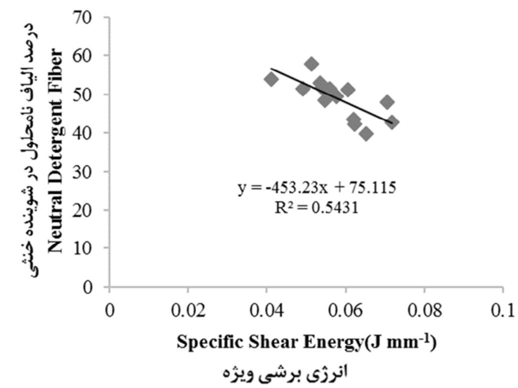
برداشت شده انجام شد. دلیل انجام آزمایش‌ها برروی نمونه‌های تازه،

شرایط آب و هوایی منطقه و بارندگی‌های پی در پـی و عـدم امکـان رهاسازی محصول در مزرعه برای خشک شدن در برابر آفتـاب بـود. نتایج این بخش هم روند مشابهی را با پژوهش‌های پیشین نشان داد (Herrero *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2009; Mir *et al.*, 1995) و انرژی برشی ویژه و شاخص‌های درصد الیـاف نـامحلول در شـوینده اسیدی، درصد الیاف نـامحلول در شـوینده خنثـی و ارزش تغذیـه‌ای نسبی به‌ترتیب با ضرایب تبیـین R^2 =0/52، R^2=0/54 و R^2=0/55 هم‌بسته بودند (شکل 11، 12 و 13).



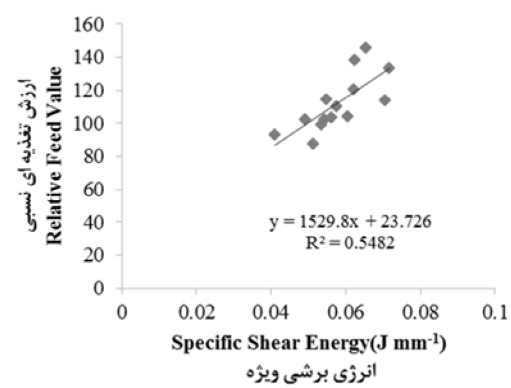
شکل 11- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در حالت تازه و دسته‌ساقه

Fig. 11. Relationship of specific shear energy and ADF index of fresh multi-stem



شکل 12- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی در حالت تازه و دسته‌ساقه

Fig. 12. Relationship of specific shear energy and NDF index of fresh multi-stem



شکل 13- رابطه انرژی برشی ویژه و شاخص ارزش تغذیه‌ای نسبی در حالت تازه و دسته‌ساقه

Fig. 13. Relationship of specific shear energy and RFV index of fresh multi-stem

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان داد روش اندازه‌گیری انرژی برشی ویژه می‌تواند در تخمین برخی خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای مرتبط با فیبر خام استفاده شود. این نتایج توسط محققین پیشین نیز گزارش شده است. نتایج دو بخش این پژوهش که با دو نوع سامانه برشی (استفاده از تیغه‌های استاندارد ماشین بسته‌بند و روش برشی استاندارد وارنر براتزلر اصلاح شده) انجام شد، نشان داد که روند تغییرات در هر دو نوع آزمون برشی و در حالت دسته ساقه و محصول تازه برداشت شده مشابه است و امکان استفاده از روش‌های پیشنهادی این پژوهش در شرایط مزرعه‌ای و بی‌درنگ جهت تخمین خصوصیات کیفیت تغذیه‌ای وجود دارد.

سپاسگزاری

نویسندگان برخود لازم می‌دانند از آقایان دکتر محمدحسین رئوفت، دکتر سید مهدی نصیری، دکتر سید عبدالرضا کاظمینی و دکتر محمدرضا رضوانی که از نظرات و مشاوره‌های سازنده ایشان بهره‌مند شده‌اند و همکاران در دانشگاه ایالتی داکوتای شمالی آقایان مهندس علی‌محمد شیرزادی فر و دکتر ساراوانان سیواراجان به دلیل یاری در انجام این پژوهش، سپاسگزاری نمایند. همچنین از داوران محترمی که نسخه اولیه مقاله را مطالعه و نظرات ارزشمندشان باعث ارتقا کیفیت علمی مقاله شد، سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Bagg, J. 2003. Predicting Alfalfa Quality Using PEAQ. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Extension services publications.
2. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/info_ndf.htm>
3. Ball, D. M., M. Collins, G. D. Lacefield, N. P. Martin, D. A. Mertens, K. E. Olson, D. H. Putnam, D. J. Undersander, and M. W. Wolf. 2001. Understanding forage quality. American Farm Bureau Federation Publication. 101 Park Ridge, IL.
4. Blackmore, S. 1996. An information system for precision farming. Proc. of Brighton Crop Protection Conference-Pests and Diseases. Brighton Sussex, UK, 1207-1214.
5. Emam, Y. 2003. Cereal Production. 1st Edition, Shiraz University Press, pp. 161, Shiraz. (In Farsi).
6. Herrero, M., C. B. Do Valle, N. R. G. Hughes, V. De O' Sabatel, and N. S. Jessop. 2001. Measurements of physical strength and their relationship to the chemical composition of four species of Brachiaria. Animal Feed Science Technology 92: 149-158.
7. Hooshmand, H., and M. Loghavi. 2014. Preparing crop yield map using square baler energy consumption method. Journal of Agricultural Machinery 5 (1): 199-205. (In Farsi).
8. Hughes, N. R. G., C. B. Do Valle, V. O' Sabatel, J. Boock, N. S. Jessop, and M. Herrero. 2000. Shearing strength as an additional selection criterion for quality in Brachiaria pasture ecotypes. Journal of Agricultural Science 135 (2): 123-130.
9. Iwaasa, A. D., K. A. Beauchemin, J. G. Buchanan-Smith, and S. N. Acharya. 1996a. A shearing technique measuring resistance properties of plant stems. Animal Feed Science Technology 57: 225-237.
10. Iwaasa, A. D., K. A. Beauchemin, J. G. Buchanan-Smith, and S. N. Acharya.1996b. Effect of stage of maturity and growth cycle on shearing force and cell wall chemical constituents of alfalfa stems. Canadian Journal of Plant Science 76: 321-328.
11. Iwaasa, A. D., K. A. Beauchemin, S. N. Acharya, and J. G. Buchanan-Smith. 1999. Shearing force of alfalfa stems: effects of cultivar and shearing site. Canadian Journal of Plant Science 79: 49-55.
12. Liu, L., Z. Yang, W. Yang, S. Jiang, G. Zhang, and B. Yao. 2009. Correlations among shearing force, morphological characteristics, chemical compositions, and in situ degradability of alfalfa stem and rye grass stem. Scientia Agricultura Sinica 42 (9): 3374-3380.
13. Loghavi, M. 2003. The Precision-Farming Guide for Agriculturists. 1st Edition, Agricultural Research and Education Organization, pp. 295, Tehran. (In Farsi).
14. Maharlooei, M. M., M. Loghavi, and S. M. Nassiri. 2014. Developing a yield and some nutritional quality indices monitoring system using shear and compression energy method for alfalfa crop. Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 184-193. (In Farsi).
15. Mir, P. S., Z. Mir, K. Broersma, S. Bittman, and J. W. Hall. 1995. Prediction of nutrient composition and in vitro dry matter digestibility from physical characteristics of forages. Animal Feed Science and Technology 55 (3-4): 275-285.
16. Nazari-Galedar, M., A. Tabatabaeefar, A. Jafari, A. Sharifi, M. J. O'Dogherty, Sh. Rafiee, and G.

Richard. 2008. Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. Biosystem Engneering 101 (2): 199-208.
17. Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 2006. Hay and forage harvesting. Engineering principles of agricultural machines, ASABE Publication, 325-402.
18. Stuth, J., J. Abdi, and D. Tolleson. 2003. Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. Field Crops Research 84: 45-56.
19. Varella, A. C., D. J. Moot, K. M. Pollock, P. L. Peri, and R. J. Lucas. 2011. Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system. Agroforestry systems 81 (2): 157-173.
20. Womac, A. R., M. Yu, C. Igathinathane, P. Ye, D. Hayes, S. Narayan, S. Sokhansanj, and L. Wright. 2005. Shearing characteristics of biomass for size reduction. ASABE Annual meeting. Tampa, Florida.
21. Yang, Z., Z. Wang, W. Yang, S. Jiang, and G. Zhang. 2010. Correlations among shearing force and chemical compositions of wheat stems. Journal of Animal Sciences 88: 1243-1252.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 1, Spring- Summer 2018, p. 1-13

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد 8، شماره 1، نیمسال اول 1397، ص 1-13

Laboratory Study of Standardized Shear Energy of Alfalfa Stem to Estimate Some Nutritional Quality Indices

M. Maharlooei[1*]- M. Loghavi[2]- S. G. Bajwa[3]- M. Berti[4]

Received: 30-12-2015
Accepted: 14-09-2016

Introduction

Current study tries to find a new simple and practical real-time technique to estimate forage crop nutritional quality indices at field conditions. Estimating these indices help producers to have field quality variation layer to reach the goals of Precision Agriculture. Previous studies have shown that standardized shear characteristics of crop stem would be a good indicator for some nutritional quality indices. In previous studies, laboratory tests were conducted at controlled conditions of crop moisture content, stem diameter and employing standard shear test procedure.

Materials and Methods

In order to simulate field conditions, a two-stage study was conducted in Iran and United States. In the first stage fresh and naturally sun dried alfalfa stems were used in evaluating four levels of crop growth stage and eight loading conditions (four loading rates and two stem conditions). In order to evaluate the effectiveness of shear technique with respect to the conventional harvest method in Iran, shear tests were conducted using fixed and moving knives of a standard square hay baler (John Deere-348). Special fixtures were constructed to attach these knives to a universal testing machine (SANTAM, STM-20). Since evaluation of the suggested method with regard to other quality related factor indices such as different varieties and seeding rates, was not practically feasible in Iran in the second stage of this research, five different varieties and three seeding rates were tested in United States. In this part of the study, shear tests were conducted using modified Varner-Bratzler shear test with universal testing machine (TESTRESOURCES-311). Based on the results of loading rate and stem condition in the first stage, shear tests were carried out using loading rate of 500 mm/min and multiple stem condition. In both stages Specific Shear Energy (shear energy per stem diameter, J mm^{-1}) were calculated using trapezoidal method. In order to compare the shear energy results with crude fiber nutritional quality indices such as Acid Detergent Fiber (ADF), Neutral Detergent Fiber (NDF) and Relative Feed Value (RFV), all alfalfa samples were analyzed using (Association of Official Agricultural Chemists) AOAC standard analytical laboratory methods. Statistical analyses were consisted of ANOVA mean comparison test at each level of factors and regression analysis to find the correlation between specific shear energy and nutritional quality indices.

Results and Discussions

Results of ANOVA analysis and mean comparisons showed a significant difference in specific shear energy at different levels of loading rates. The higher loading rates showed lower energy which was related to lower ability of knives to cut alfalfa stem thoroughly and shredding the stems at lower speed levels. Significant differences were found in different levels of annual growing cycle, harvest time and seeding rates. Alfalfa stem in fifth harvest year showed the highest shear energy due to higher lignification in plant stems. In the first year, harvested alfalfa stem did not have the lowest shear energy which might be due to existence of weeds in first year field. Results showed higher values of shear energy in fifth harvest of the season in comparison with the third harvest which was acceptable because of differences in plant received Degree Day in these harvest times. The lowest seeding rate (5 kg h^{-1}) showed the highest shear energy respect to the other seeding rates. The reason for this significant difference could be due to lower competition to receive water and nutritions, also lower plant

1- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2- Professor, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran
3- Professor, Department of Agricultural and Biosystems Engineering, North Dakota State University, Fargo, USA
4- Professor, Department of Plant sciences, North Dakota State University, Fargo, USA
(*- Corresponding Author Email: maharlooei@uk.ac.ir)

density helps the canopy to receive more sun light which causes higher lignification. Comparing the shear energy means in different varieties didn't show significant differences which can be explained because of varieties adoptability to the region specific weather condition. The regression analysis showed good correlations between specific shear energy and crude fiber nutritional indices (ADF, NDF and RFV). The negative trends which were found in regression analyses were also reported in similar studies.

Conclusions

Two stage laboratory tests were conducted in order to evaluate the effect of alfalfa nutritional feed quality indices related factors on unitized shear energy. Results showed a significant difference of standardized shear energy mean at different levels of harvest time, annual growing cycle and seeding rates. The specific shear energy was not significantly different in different varieties because of varieties environmental adoptability. The unitized shear energy showed a good correlation with crude fiber related indices with similar trends in both stages of research and good agreements with previous studies.

Keywords: Forage, Nutritional quality indices, Precision agriculture, Unitized shearing characteristics